



Biodegradation Potential of *Streptomyces* sp. Against propineb-Based 70% Fungicide Under In Vitro Conditions

Nadya Naurah Sari, Tri Mujoko*, & Sri Wiyatiningsih

Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur

*Corresponding Author: trimujoko.agri@upnjatim.ac.id

Received September 18, 2025; revised December 03, 2025; accepted December 20, 2025

ABSTRACT

The intensive use of propineb-based fungicides in agriculture can negatively affect the environment due to toxic and persistent residues in soil. An environmentally friendly approach to reduce these impacts is bioremediation using microorganisms such as *Streptomyces* sp. This study aimed to examine the tolerance and biodegradation potential of *Streptomyces* sp. toward 70% propineb fungicide under *in vitro* conditions. The research was conducted at the Plant Health 1 Laboratory, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” East Java, from June to August 2025. The experiments were carried out in two stages: (1) a tolerance assay on Glucose Nutrient Agar containing propineb at 0; 0,50; 1,00; 1,50; and 2,00 g/L, and (2) a degradation assay using a dual-culture method with *Colletotrichum* sp. as a bioindicator. Observation variables included Total Plate Count (TPC) of *Streptomyces* sp., colony diameter of *Colletotrichum* sp., and the relative inhibition level (THR). Results showed that *Streptomyces* sp. was able to grow at all fungicide concentrations. The highest population was found in P0 (0 g/L) with $1,42 \times 10^{13}$ CFU/mL with growth decreasing as propineb concentration increased, reaching the lowest level of $3,22 \times 10^{10}$ CFU/mL in P4 (2,00 g/L). In the degradation assay, *Colletotrichum* sp. colony diameter decreased from 3,38 cm in P0 (0 g/L) to 2,24 cm in P4 (2,00 g/L). Meanwhile, THR values increased consistently with fungicide concentration, rising from 3,17% in P0 (0 g/L) to 35,48% in P4 (2,00 g/L).

Keywords: Actinomycetes, pesticide residues, soil microorganism

Potensi Biodegradasi *Streptomyces* sp. terhadap Fungisida Berbahan Aktif Propineb 70% secara *In Vitro*

ABSTRAK

Penggunaan fungisida berbahan aktif propineb secara intensif dalam pertanian dapat berdampak negatif terhadap lingkungan karena menghasilkan residu beracun dan persisten di dalam tanah. Salah satu pendekatan ramah lingkungan untuk mengurangi dampak tersebut adalah bioremediasi menggunakan mikroorganisme seperti *Streptomyces* sp. Penelitian ini bertujuan menguji toleransi dan potensi biodegradasi *Streptomyces* sp. terhadap fungisida propineb 70% dalam kondisi *in vitro*. Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Kesehatan Tanaman 1, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur, pada Juni hingga Agustus 2025. Percobaan dilakukan dalam dua tahap, yaitu (1) uji toleransi pada media Glucose Nutrient Agar dengan penambahan propineb 0; 0,50; 1,00; 1,50; dan 2,00 g/L, serta (2) uji degradasi menggunakan metode kultur ganda dengan *Colletotrichum* sp. sebagai bioindikator. Variabel pengamatan meliputi Total Plate Count (TPC) *Streptomyces* sp., diameter koloni *Colletotrichum* sp., dan tingkat hambatan relatif (THR). Hasil menunjukkan bahwa *Streptomyces* sp. mampu tumbuh pada seluruh konsentrasi fungisida. Populasi tertinggi diperoleh pada P0 (0 g/L) sebesar $1,42 \times 10^{13}$ CFU/mL, kemudian menurun seiring peningkatan konsentrasi propineb hingga mencapai nilai terendah $3,22 \times 10^{10}$ CFU/mL pada P4 (2,00 g/L). Pada uji degradasi, diameter koloni *Colletotrichum* sp. menurun dari 3,38 cm pada P0 (0 g/L) menjadi 2,24 cm pada P4 (2,00 g/L). Sementara itu, nilai THR meningkat konsisten dari 3,17% pada P0 (0 g/L) hingga 35,48% pada P4 (2,00 g/L).

Kata Kunci: Actinomycetes, residu pestisida, mikroorganisme tanah.

PENDAHULUAN

Penyakit tanaman yang disebabkan oleh jamur patogen merupakan salah satu faktor utama yang menurunkan produktivitas pertanian dan menimbulkan kerugian ekonomi yang cukup besar. Pengendalian penyakit umumnya dilakukan melalui aplikasi fungisida karena efektivitasnya dalam menekan

perkembangan penyakit. Prakoso *et al.*, (2023) melaporkan bahwa penggunaan pestisida berkontribusi nyata terhadap peningkatan hasil panen komoditas hortikultura. Di Sumatera Selatan, sekitar 89,9% petani masih mengandalkan pestisida kimia dalam praktik budidaya (Maksuk *et al.*, 2024). Namun demikian, penggunaan pestisida secara intensif dan

berkepanjangan berpotensi menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan, terutama akibat akumulasi senyawa toksik dan persisten di dalam tanah (Prajawahyudo *et al.*, 2022). Beberapa jenis pestisida, seperti chlordecone diketahui mampu bertahan di tanah selama beberapa dekade, sementara kelompok neonicotinoid masih dapat terdeteksi bertahun-tahun setelah aplikasi (Beaumelle *et al.*, 2023).

Pestisida dapat menimbulkan kontaminasi yang mencemari lingkungan melalui air, udara, maupun tanah, sehingga berpotensi memengaruhi keseimbangan ekosistem dan organisme non-target (Sinambela, 2024). Propineb merupakan salah satu bahan aktif dari kelompok dithiokarbamat yang banyak digunakan dalam pestisida kontak karena efektivitasnya dalam mengendalikan berbagai jamur patogen pada tanaman hortikultura. Meskipun demikian, keberadaan kontaminasi dari pestisida propineb di lingkungan dapat menurunkan kualitas ekosistem tanah, mengganggu aktivitas mikroorganisme non-target, serta meningkatkan risiko pencemaran air dan akumulasi dalam rantai makanan. Kontaminasi residu pestisida pada bagian tanaman yang dikonsumsi juga dilaporkan berpotensi menimbulkan dampak kesehatan bagi manusia melalui mekanisme toksisitas kronis (Oktavia *et al.*, 2015).

Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa kontaminasi pestisida mampu menekan populasi mikroorganisme tanah yang berperan penting dalam siklus biogeokimia, termasuk proses nitrifikasi dan pelarutan fosfat (Sulistinah *et al.*, 2016). Kondisi tersebut berpotensi mengganggu kesuburan tanah serta keberlanjutan produktivitas pertanian. Oleh karena itu, diperlukan strategi ramah lingkungan untuk meminimalkan dampak kontaminasi pestisida di area pertanian. Salah satu pendekatan yang berkembang pesat adalah bioremediasi, yaitu pemanfaatan mikroorganisme untuk mendegradasi senyawa organik berbahaya di lingkungan (Yuka *et al.*, 2021). Bioremediasi dinilai lebih efisien, ekonomis, dan ramah lingkungan dibandingkan teknik fisikokimia, serta memiliki kemampuan untuk diaplikasikan pada berbagai jenis polutan (Bala *et al.*, 2022).

Streptomyces sp., merupakan mikroorganisme dari kelompok Actinomycetes, diketahui memiliki kemampuan saprofitik dengan memanfaatkan bahan organik kompleks sebagai sumber nutrisi. Mikroorganisme ini dikenal memiliki toleransi tinggi terhadap kontaminan kimia dan berpotensi memiliki peran dalam degradasi pestisida (Indrawan *et al.*, 2021). Rahmansyah *et al.*, (2013), melaporkan adanya isolat *Streptomyces* sp. yang mampu tumbuh pada media dengan kandungan bahan aktif pestisida pada berbagai konsentrasi. *Streptomyces* sp. mampu mendegradasi pestisida organoklorin dengan efisiensi tinggi, baik dalam bentuk isomer tunggal maupun campuran sebesar 78% hingga 95% (Cuozzo *et al.*, 2018). Temuan tersebut menunjukkan bahwa *Streptomyces* sp. memiliki potensi besar sebagai agen bioremediasi kontaminasi pestisida. Akan tetapi,

informasi mengenai toleransi dan kemampuan *Streptomyces* sp. dalam mendegradasi propineb masih terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menguji kemampuan tumbuh isolat *Streptomyces* sp. terhadap propineb 70% serta menguji potensi degradasinya secara *in vitro*.

BAHAN DAN METODE

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Juni hingga Agustus 2025 di Laboratorium Kesehatan Tanaman 1, Fakultas Pertanian, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur. Alat yang digunakan meliputi *Laminar Air Flow* (LAF), autoklaf, timbangan analitik, mikroskop, rotary shaker, erlenmeyer (250 mL), gelas beaker (500 mL dan 1000 mL), gelas ukur (100 mL), botol media, cawan Petri (9 cm), jarum ose, bunsen, *cork borer*, mikropipet, mikrotip, batang pengaduk, gunting, serta kamera. Bahan yang digunakan meliputi isolat *Streptomyces* sp. dan jamur *Colletotrichum* sp. asal lahan tanaman cabai di Lakarsantri, Surabaya, Jawa Timur koleksi Laboratorium Kesehatan Tanaman UPN “Veteran” Jawa Timur, fungisida berbahan aktif propineb 70% (WP), plastik tahan panas, kapas, aluminium foil, *plastic wrap*, tisu, aquades steril, alkohol 70%, spirtus, media Glucose Nutrient Agar (GNA), Glucose Nutrient Broth (GNB), Potato Dextrose Agar (PDA), serta kertas saring Whatman.

Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL) dengan satu faktor, yaitu konsentrasi propineb. Perlakuan uji kemampuan tumbuh *Streptomyces* sp. terdiri atas lima taraf konsentrasi propineb (0,00; 0,50; 1,00; 1,50; dan 2,00 g/L), masing-masing diulang 5 kali sehingga diperoleh 25 unit percobaan. Uji potensi degradasi dilakukan menggunakan suspensi *Streptomyces* sp. yang telah diinkubasi bersamaan dengan larutan propineb pada lima taraf perlakuan dalam media GNB dan jamur patogen *Colletotrichum* sp. sebagai bioindikator dengan metode biakkan ganda. Perlakuan terdiri atas lima taraf konsentrasi propineb, masing-masing dengan 4 ulangan sehingga diperoleh 20 unit percobaan.

Sterilisasi dan Pembuatan Media. Seluruh alat *glassware* disterilisasi dengan autoklaf pada suhu 121°C, tekanan 1,5 atm selama 30 menit (Fitriana *et al.*, 2020). Media disiapkan dengan komposisi sebagai berikut: (1) Glucose Nutrient Agar (GNA) terdiri atas glukosa 1 g; KH₂PO₄ 1,75 g; NaNO₃ 0,85 g; KCl 0,75 g; MgSO₄-7H₂O 2,5 g; agar 15 g; dan aquades 1000 mL (Maeswari *et al.*, 2025); (2) Glucose Nutrient Broth (GNB) komposisi sama dengan GNA, tetapi tanpa penambahan agar; (3) Potato Dextrose Agar (PDA) terdiri atas kentang 200 g; gula pasir 20g; agar 15g; dan aquades 1000 mL (Arifah, 2019). Media yang telah dimasak dimasukkan ke dalam botol media kemudian disterilisasi pada suhu 121°C selama 20-30 menit.

Perbanyakan Isolat. Isolat *Streptomyces* sp. dengan kerapatan 10^9 diperbanyak pada media GNA menggunakan metode *streak plate* dan diinkubasi selama 7 hari (Raharjo, 2025). Isolat *Colletotrichum* sp., dengan kerapatan 10^4 patogen penyebab antraknosa pada cabai diperbanyak pada media PDA menggunakan *cork borer* berdiameter 0,5 cm dan diinkubasi selama 14 hari. Jamur ini dipilih sebagai bioindikator karena jamur patogen *Colletotrichum* sp. merupakan salah satu jamur penyebab antraknosa yang merupakan target pengendalian dari fungisida propineb.

Pembuatan Suspensi *Streptomyces* sp. Isolat murni *Streptomyces* sp. 10^9 yang telah diperbanyak dimasukkan ke dalam 9 mL aquades steril dengan menggunakan jarum ose sebanyak satu ose (Putra *et al.*, 2024).

Pembuatan Larutan Stok. Larutan stok propineb dibuat dengan melarutkan konsentrasi 0,00; 0,50; 1,00; 1,50; dan 2,00 g/L ke dalam 1000 mL aquades steril. Larutan stok digunakan untuk uji kemampuan tumbuh dan uji potensi degradasi.

Uji Kemampuan Tumbuh *Streptomyces* sp. Uji kemampuan tumbuh dilakukan dengan mencampurkan 9 mL media GNA dengan 1 mL larutan stok untuk setiap taraf perlakuan sehingga diperoleh konsentrasi akhir 10% dari stok (0,00; 0,05; 0,10; 0,15; 0,20 g/L). Campuran dihomogenkan dan dituangkan ke dalam cawan Petri steril. Suspensi *Streptomyces* sp. 10^9 sebanyak 1 mL diinokulasikan dengan metode *spread plate* menggunakan mikropipet dan diinkubasi pada suhu ruang. Jumlah koloni diamati setelah 7 hari dan dihitung menggunakan metode Total Plate Count (TPC) dalam CFU/mL (Supreeth *et al.*, 2016).

Uji Potensi Degradasi. Uji potensi degradasi dilakukan dengan mencampurkan 1 mL larutan stok untuk setiap taraf perlakuan sehingga diperoleh konsentrasi akhir 1% dari stok (0,000; 0,005; 0,010; 0,015; 0,020 g/L) dan 1 mL suspensi *Streptomyces* sp. 10^9 kemudian ditambahkan media GNB hingga mencapai volume 100 ml dan diinkubasi selama 21 hari menggunakan *rotary shaker* kecepatan 150 rpm pada suhu ruang (Osadebe & Patrick, 2023). Hasil inkubasi kemudian diautoklaf untuk mematikan sel-sel *Streptomyces* sp.. Sterilisasi dilakukan untuk memastikan bahwa hanya kontaminasi pestisida yang tersisa, sehingga respon jamur indikator mencerminkan efek kontaminasi tanpa adanya interaksi mikroba lain (Imfeld *et al.*, 2024). Selanjutnya kertas saring Whatman steril berukuran 0,5 cm direndam dalam larutan fungisida tersebut lalu didiamkan selama 60 detik. Kertas kemudian ditiriskan dengan tisu steril. Pengujian degradasi dilakukan dengan memodifikasi metode biakan ganda dengan cara meletakkan misellium *Colletotrichum* sp. di tengah cawan Petri yang berisi media PDA. Kertas saring Whatman

diletakkan pada jarak 2,5 cm di sisi kanan dan kiri dari jamur patogen *Colletotrichum* sp. dan diinkubasi selama 7 hari serta diamati diameter jamur *Colletotrichum* sp. Jamur yang digunakan sebagai bioindikator berperan untuk menilai efektivitas degradasi pestisida oleh bakteri melalui pengamatan pertumbuhan jamur sebagai cerminan tingkat toksisitas kontaminasi pestisida (Pellan *et al.*, 2020).

Variabel Pengamatan. Variabel pada uji kemampuan tumbuh adalah jumlah koloni *Streptomyces* sp. (CFU/mL). Jumlah koloni dihitung menggunakan metode Total Plate Count (TPC) dan dinyatakan dalam satuan Colony Forming Units (CFU/mL) (Laili *et al.*, 2022):

$$TPC \left(\frac{CFU}{mL} \right) = \text{Jumlah koloni per cawan} \times \frac{1}{\text{Faktor Pengenceran}}$$

Keterangan

- | | | |
|-------------------------|---|--|
| TPC | : | Total jumlah mikroorganisme dalam 1 mL sampel. |
| Jumlah koloni per cawan | : | Jumlah koloni yang tumbuh dan terlihat pada cawan Petri. |
| Faktor pengenceran | : | Nilai pengenceran yang digunakan. |
| Angka 1 | : | Volume sampel (dalam mL) yang ditanam ke dalam media. |

Pada pengujian potensi degradasi, variabel yang diamati adalah diameter pertumbuhan jamur patogen *Colletotrichum* sp. pada media tumbuh. Pengukuran diameter koloni menggunakan penggaris 30 cm yang dilakukan pada hari ke-7. Pengukuran ini bertujuan untuk melihat daya hambat konsentrasi bahan aktif propineb yang terdegradasi oleh *Streptomyces* sp. terhadap pertumbuhan jamur *Colletotrichum* sp. berdasarkan rumus diameter koloni (Awalliyah *et al.*, 2024):

$$D = \frac{d1 + d2}{2}$$

Keterangan

- | | | |
|----|---|----------------------------|
| D | : | Diameter koloni |
| d1 | : | Diameter vertikal koloni |
| d2 | : | Diameter horizontal koloni |

Pengukuran tingkat hambatan relatif dilakukan untuk mengetahui sensitivitas jamur terhadap bahan aktif propineb pada berbagai perlakuan konsentrasi. Menurut (Arunachalam *et al.*, 2007), nilai sensitivitas isolat terhadap bahan aktif fungisida dapat ditentukan berdasarkan nilai THR, yaitu $THR \leq 40\%$, sangat resisten (SR); $40\% < THR \leq 60\%$, resisten (R); $60\% < THR \leq 75\%$, resisten sedang (RS); $75\% < THR \leq 90\%$, sensitif (S); $THR > 90\%$, sangat sensitif (SS). Setelah dilakukan pengukuran dan diperoleh hasil data rerata diameter koloni jamur *Colletotrichum* sp. pada masing-masing perlakuan, selanjutnya data rerata dimasukkan ke dalam rumus tingkat hambatan relatif dengan rumus berikut Hartati *et al.*, (2025):

$$THR = \frac{(dk - dp)}{dk} \times 100\%$$

Keterangan:

THR : Tingkat Hambatan Relatif

dk : Diameter koloni pada kontrol

dp : Diameter koloni pada perlakuan formulasi bahan aktif propineb

Analisis Data. Data dianalisis menggunakan Rancangan Acak Lengkap (RAL). Data yang diperoleh dari pengamatan dianalisis menggunakan analisis varians (ANOVA) untuk menentukan perbedaan signifikan antara perlakuan yang berbeda pada taraf kesalahan 5%. Jika terdapat perbedaan yang signifikan, analisis lanjutan dilakukan menggunakan uji Beda Nyata Jujur (BNJ) pada taraf 5%.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Uji kemampuan tumbuh isolat *Streptomyces* sp. terhadap propineb 70% dilakukan pada medium GNA dengan lima taraf konsentrasi akhir (0,00; 0,05; 0,10; 0,15; 0,20 g/L) menunjukkan perbedaan yang signifikan pada jumlah koloni dengan jumlah koloni tertinggi diperoleh pada kontrol (P0) sebesar $1,42 \times 10^{13}$ CFU/mL, sedangkan jumlah koloni terendah terjadi pada perlakuan P4 (2,00 g/L) sebesar $3,22 \times 10^{10}$ CFU/mL (Tabel 1). Hasil analisis menunjukkan adanya perbedaan nyata antara perlakuan tanpa pestisida (P0) dan perlakuan dengan pestisida (P1–P4), sedangkan

antar perlakuan konsentrasi 0,05 g/L hingga 0,20 g/L tidak berbeda signifikan. Pola ini mengindikasikan bahwa penambahan pestisida berbahan aktif propineb 70% dapat menurunkan jumlah koloni secara signifikan, tetapi peningkatan konsentrasi di atas 0,05 g/L tidak menambah efek penghambatan secara signifikan.

Penurunan jumlah koloni sejalan dengan temuan (Titalianingtyas & Ratnasari, 2023), bahwa senyawa propineb bersifat toksik terhadap metabolisme sel, sehingga menghambat pertumbuhan dan memicu kematian sel. Di sisi lain, kemampuan *Streptomyces* sp. untuk tetap tumbuh pada seluruh taraf perlakuan menunjukkan adanya toleransi biologis terhadap propineb. Mekanisme ini melibatkan produksi enzim peroksidase, laccase, dan hidrolase yang berperan dalam pemecahan struktur propineb (Suyanto *et al.*, 2022), serta pembentukan biofilm dan eksopolisakarida (EPS) yang melindungi sel dari paparan senyawa toksik (Elnahas *et al.*, 2021). *Streptomyces* sp. memiliki kapasitas adaptasi yang tinggi pada berbagai habitat sehingga tetap dapat tumbuh meskipun menghadapi senyawa xenobiotik, serta dapat menghasilkan berbagai enzim ekstraseluler seperti oksidoreduktase dan hidrolase yang berperan dalam pemecahan senyawa kompleks (Khan *et al.*, 2023). Kemampuan ini berkaitan dengan pemanfaatan senyawa hasil degradasi sebagai sumber karbon untuk mendukung kelangsungan hidup mikroorganisme.

Tabel 1. Rerata koloni *Streptomyces* sp. pada perlakuan konsentrasi bahan aktif propineb 70%

Perlakuan Konsentrasi propineb (g/L)	Rerata Hasil TPC
P0 (konsentrasi 0,00)	$1,42 \times 10^{13}$ a
P1 (konsentrasi 0,05)	$5,82 \times 10^{10}$ b
P2 (konsentrasi 0,10)	$4,06 \times 10^{10}$ b
P3 (konsentrasi 0,15)	$3,76 \times 10^{10}$ b
P4 (konsentrasi 0,20)	$3,22 \times 10^{10}$ b

Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak beda nyata pada uji BNJ taraf 5%

Potensi degradasi propineb oleh *Streptomyces* sp. menunjukkan adanya pengaruh nyata konsentrasi fungisida terhadap efektivitas degradasi (Tabel 2). Diameter pertumbuhan *Colletotrichum* sp. digunakan sebagai indikator biologis degradasi, sebagaimana dijelaskan bahwa penghambatan pertumbuhan dinilai dari diameter koloni yang dibandingkan dengan

kontrol, di mana semakin besar diameter menunjukkan semakin rendah sisa bahan aktif (Nguyen *et al.*, 2025). Hasil menunjukkan bahwa rerata diameter tertinggi ditemukan pada perlakuan P0 (konsentrasi 0,00 g/L) dan P1 (konsentrasi 0,50 g/L), masing-masing rerata sebesar 3,38 cm dan 3,24 cm.

Tabel 2. Pengaruh degradasi *Streptomyces* sp. terhadap fungisida berbahan aktif propineb melalui rerata diameter dan persentase penghambatan koloni *Colletotrichum* sp.

Perlakuan Konsentrasi propineb (g/L)	Rerata Diameter (cm) ($\bar{x} \pm SD$)
P0 (konsentrasi 0,000)	$3,38 \pm 0,18$ a
P1 (konsentrasi 0,005)	$3,24 \pm 0,33$ a
P2 (konsentrasi 0,010)	$3,20 \pm 0,28$ a
P3 (konsentrasi 0,015)	$2,98 \pm 0,62$ ab
P4 (konsentrasi 0,020)	$2,24 \pm 0,41$ b

Keterangan: Angka yang diikuti huruf yang sama pada kolom yang sama menunjukkan tidak beda nyata pada uji BNJ taraf 5%.



Gambar 1. Pengaruh fungisida propineb terdegradasi oleh *Streptomyces* sp. terhadap jamur patogen *Colletotrichum* sp. pada perlakuan (A) 0,000; (B) 0,005; (C) 0,010; (D) 0,015; (E) 0,020 g/L.

Perlakuan P0 (0,000 g/L) tidak mengandung propineb, sedangkan perlakuan P1 hanya mengandung konsentrasi yang rendah, yaitu 0,005 g/L. Akibatnya tidak terjadi mekanisme penghambatan yang optimal terhadap pertumbuhan jamur patogen *Colletotrichum* sp. Sementara itu, rerata diameter terendah tercatat pada perlakuan P4 dengan konsentrasi propineb 0,020 g/L, dengan rerata diameter koloni sebesar 2,24 cm. Perlakuan P2 dan P3, dengan konsentrasi yang lebih tinggi, yaitu 0,010 g/L dan 0,015 g/L menunjukkan penurunan yang jelas dengan rerata diameter masing-masing sebesar 3,20 cm dan 2,98 cm.

Perlakuan P0 dan P1 tidak menunjukkan perbedaan nyata terlihat dari huruf kelompok yang sama. Sementara itu, perlakuan dengan konsentrasi propineb lebih dari 0,010 g/L setelah melalui proses degradasi oleh *Streptomyces* sp. menunjukkan pengaruh penghambatan yang signifikan dan nyata. Hal ini sejalan dengan penelitian Mahendra *et al.*, (2022), bahwasanya terdapat enzim hidrolase, yaitu selulase yang dihasilkan oleh bakteri dan fungi untuk menghidrolisis senyawa kompleks menjadi senyawa yang lebih sederhana dan produk hasil untuk sumber karbon dan energi untuk pertumbuhan jamur.

Tabel 3. Pengaruh degradasi *Streptomyces* sp. terhadap fungisida berbahan aktif propineb melalui persentase tingkat hambatan relatif koloni *Colletotrichum* sp.

Konsentrasi propineb (g/L)	THR (%) ($\bar{x} \pm SD$)
P0 (konsentrasi 0,000)	3,17 $\pm$ 2,73a
P1 (konsentrasi 0,005)	7,22 $\pm$ 7,09a
P2 (konsentrasi 0,010)	8,19 $\pm$ 7,20a
P3 (konsentrasi 0,015)	14,98 $\pm$ 15,71ab
P4 (konsentrasi 0,020)	35,48 $\pm$ 13,28b

Keterangan: Angka-angka yang diikuti huruf yang sama menunjukkan tidak adanya perbedaan nyata pada uji BNJ 5%.

Hasil uji tingkat hambatan relatif (THR%) potensi degradasi propineb oleh *Streptomyces* sp. terhadap jamur patogen *Colletotrichum* sp. sebagai bioindikator menunjukkan adanya variasi respon (Tabel 3). Peningkatan konsentrasi propineb dari P0 (0,000 g/L) hingga P4 (0,020 g/L) menunjukkan kecenderungan kenaikan THR, mulai dari 3,17% (P0), 7,22% (P1), 8,19% (P2), 14,98% (P3), hingga 35,48% (P4).

Berdasarkan klasifikasi sensitivitas, seluruh perlakuan masuk ke dalam kategori sangat resisten (SR) karena nilai hasil THR $\leq 40\%$. Resistensi merupakan keadaan alami sebagai bentuk perlawanan terhadap senyawa kimia oleh patogen secara terus menerus dalam jangka waktu yang relatif panjang (Hajijah *et al.*, 2022). Hal ini menandakan bahwa isolat *Streptomyces* sp. memiliki kemampuan tumbuh tinggi dan dapat mendegradasi fungisida berbahan aktif propineb. Rendahnya nilai tingkat hambatan relatif (THR) menunjukkan bahwa pertumbuhan jamur patogen *Colletotrichum* sp. hanya sedikit terhambat, sehingga masih mampu bertahan dalam kondisi perlakuan konsentrasi. Dengan demikian, dapat dinyatakan bahwa *Streptomyces* sp. memiliki potensi dalam mendegradasi bahan aktif propineb. Hasil ini menunjukkan bahwa meskipun larutan propineb telah diinokulasikan dan diinkubasi bersama isolat *Streptomyces* sp., aktivitas bahan aktif propineb 70% pada fungisida tidak sepenuhnya hilang dan kemungkinan *Streptomyces* sp. memiliki kemampuan adaptasi atau toleransi terhadap propineb, akan tetapi belum optimal dalam menurunkan konsentrasi bahan aktif secara keseluruhan. Toleransi mikroba terhadap pestisida dapat tercermin dari kemampuan untuk tumbuh dalam media yang toksik dan mengurangi toksisitas bahan aktif dengan mengubah maupun mengurai senyawa menjadi sumber nutrisi (Barroso *et al.*,

2020). Pestisida dimanfaatkan oleh mikroorganisme sebagai media nutrisi untuk pertumbuhan kemudian diuraikan menjadi senyawa anorganik, seperti karbon dioksida dan air (Bose *et al.*, 2021).

Streptomyces sp. memiliki kemampuan umum dalam mendegradasi senyawa xenobiotik dan pestisida melalui proses enzimatik. Terdapat kelompok enzim utama yang diproduksi *Streptomyces* sp. yang berpotensi terlibat dalam proses degradasi, yaitu (a) laccase (Multicopper Oxidase) yang mampu mengoksidasi senyawa organik kompleks, termasuk pestisida dan polutan organik; (b) peroksidase berperan dalam proses oksidasi serta pemecahan ikatan kimia pada senyawa organik; (c) azo reduktase dikenal sebagai degradator zat warna azo, akan tetapi enzim ini berperan dalam pemutusan ikatan pada senyawa organik kompleks; dan (d) cytochrome P450 monooxygenase berperan dalam oksidasi dan biotransformasi senyawa xenobiotik dengan menambahkan gugus hidroksil atau memecah struktur kimia (Bautista-Pinzón *et al.*, 2024).

KESIMPULAN

Streptomyces sp. mampu bertahan pada medium mengandung propineb hingga konsentrasi 2,00 g/L dengan populasi paling optimal pada konsentrasi 0,00 g/L, yaitu $1,42 \times 10^{13}$ CFU/mL, menunjukkan tingkat kemampuan tumbuh yang tinggi terhadap tekanan fungisida. Potensi degradasi terlihat dari peningkatan penghambatan pertumbuhan *Colletotrichum* sp. dengan diameter koloni terendah 2,24 cm pada perlakuan konsentrasi propineb 2,00 g/L dan tertinggi 3,38 cm pada perlakuan 0,00 g/L. Nilai tingkat hambatan relatif (THR) sebesar 3,17-35,48% menunjukkan nilai $< 40\%$ yang tergolong sangat resisten (SR). Hasil ini menunjukkan bahwa *Streptomyces* sp. tidak

hanya mampu beradaptasi dalam kondisi tercemar propineb, tetapi juga memiliki peran potensial sebagai agen bioremediasi untuk mengurangi residu fungisida di lingkungan pertanian.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis berterima kasih kepada rekan-rekan di laboratorium kesehatan tanaman UPN “Veteran” Jawa Timur yang senantiasa memberikan dukungan dan bantuan kepada penulis, serta dosen-dosen minat Hama dan Penyakit Tanaman yang senantiasa memberikan saran dan dukungannya.

DAFTAR PUSTAKA

- Arunachalam SK, Reddy N, Reddy K, Devi M, Kumar A, Reddy N, & Reddy K. (2007). Evaluation of fungicidal resistance among *Colletotrichum gloeosporioides* isolates causing mango anthracnose in agri export zone of andhra pradesh, india. *Plant Pathol. Bull.*, 16.
- Awalliyah A, Yulianty Y, Salman F, & Bambang I. (2024). Pengaruh ekstrak etanol daun mahoni (*Swietenia mahogani* L.) sebagai fungisida nabati dalam mengendalikan *Colletotrichum acutatum* penyebab antraknosa pada cabai merah (*Capsicum annum* L.). *Jurnal Ilmiah Hijau Cendekia*, 9(1), 8. <https://doi.org/10.32503/hijau.v9i1.4127>
- Bala S, Garg D, Thirumalesh BV, Sharma M, Sridhar K, Inbara, BS, & Tripathi M. (2022). Recent Strategies for Bioremediation of Emerging Pollutants: A Review for a Green and Sustainable Environment. In *Toxics* (Vol. 10, Issue 8). MDPI. <https://doi.org/10.3390/toxics10080484>
- Bautista-Pinzón F, Fonseca-Ordoñez J, Falla-Obando M, Gonzales-Tuta, J., & Diaz-Barrera, L. (2024). Streptomyces as a Novel Biotool for Azo Pigments Remediation in Contaminated Scenarios. In *Frontiers in Bioscience - Elite* (Vol. 16, Issue 3). IMR Press Limited. <https://doi.org/10.31083/j.fbe1603029>
- Beaumelle L, Tison L, Eisenhauer N, Hines J, Malladi S, Pelosi, C., Thouvenot, L., & Phillips, H. R. P. (2023). Pesticide effects on soil fauna communities—A meta-analysis. In *Journal of Applied Ecology* (Vol. 60, Issue 7, pp. 1239–1253). John Wiley and Sons Inc. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.14437>
- Bose S, Kumar PS, Vo DVN, Rajamohan N, & Saravanan, R. (2021). Microbial degradation of recalcitrant pesticides: a review. In *Environmental Chemistry Letters* (Vol. 19, Issue 4, pp. 3209–3228). Springer Science and Business Media Deutschland GmbH. <https://doi.org/10.1007/s10311-021-01236-5>
- Cuozzo, SA, Sineli PE, Davila Costa J, & Tortella G. (2018). Streptomyces sp. is a powerful biotechnological tool for the biodegradation of HCH isomers: biochemical and molecular basis. In *Critical Reviews in Biotechnology* (Vol. 38, Issue 5, pp. 719–728). Taylor and Francis Ltd. <https://doi.org/10.1080/07388551.2017.1398133>
- Elnahas MO, Hou L, Wall JD, & Majumder ELW. (2021). Bioremediation potential of Streptomyces sp. MOE6 for toxic metals and oil. *Polysaccharides*, 2(1), 47–68. <https://doi.org/10.3390/polysaccharides2010004>
- Fitriana I, Suryaminarsih P, Mindari W, & Wiyatiningsih S. (2020). Studi pertumbuhan multiantagonis *Trichoderma* sp. dan *Streptomyces* sp. dalam suspensi akar, humat cair dan ekstrak kentang gula. *Berkala Ilmiah Agroteknologi - Plumula*, 7, 25–32. <https://doi.org/10.33005/plumula.v7i1.19>
- Hajijah H, Mariana M, & Pramudi MI. (2022). Uji resistensi *Colletotrichum* sp. asal cabai hiyung terhadap fungisida berbahan aktif klorotalonil dan mankozeb. *Jurnal Proteksi Tanaman Tropika*, 5(2), 455–465. <https://doi.org/10.20527/jppt.v5i2.1250>
- Hartati S, Rahmah SA, & Nasahi C. (2025). Inhibition of the in vitro growth of *Colletotrichum* sp. the cause of anthracnose on avocado fruit by yeast. *CROPSAVER - Journal of Plant Protection*, 8(1), 19–27. <https://doi.org/10.24198/cropsaver.v8i1.63318>
- Imfeld G, Meite F, Ehrhart L, Fournier B, & Heger TJ. (2024). Dissipation of pesticides and responses of bacterial, fungal and protistan communities in a multi-contaminated vineyard soil. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 284. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2024.116994>
- Indrawan AD, Suryaminarsih P, & Mujoko T. (2021, December 7). *Prospect of Utilization of Microorganisms Streptomyces sp. and Trichoderma sp. in Supporting Sustainable Agriculture in the Age of Modern Agriculture*. <https://doi.org/10.11594/nstp.2021.1506>
- Khan S, Srivastava S, Karnwal A, & Malik T. (2023). Streptomyces as a promising biological control agents for plant pathogens. In *Frontiers in Microbiology* (Vol. 14). Frontiers Media SA. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1285543>
- Laili NH, Abida IW, & Junaedi AS. (2022). Nilai total plate count (TPC) dan jumlah jenis bakteri air limbah cucian garam (bittern) dari tambak garam desa banyuajuh kecamatan kamal kabupaten bangkalan. *Juvenil: Jurnal Ilmiah Kelautan Dan Perikanan*, 3(1), 26–31. <https://doi.org/10.21107/juvenil.v3i1.15075>
- Barroso GM, Santos JB, dos Oliveira IT, de Nunes TKMR, Ferreira EA, Pereira IM, Silva DV, & Souza M. de F. (2020). Tolerance of *Bradyrhizobium* sp. BR 3901 to herbicides and their ability to use these pesticides as a nutritional source. *Ecological Indicators*, 119. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106783>
- Maeswari DND, Mujoko T, Rahmadhini N, & Raharjo LA. (2025). Uji antagonis Streptomyces spp. terhadap *Sporisorium scitamineum* penyebab luka api secara in vitro. *Jurnal Agrotek Tropika*, 13(1), 38. <https://doi.org/10.23960/jat.v13i1.8532>
- Mahendra MI, Martosudiro M, & Choliq FA. (2022). Eksplorasi jamur tanah yang berpotensi sebagai bioremediator fungisida berbahan aktif propineb pada tanaman jeruk (*Citrus reticulata* L.). *Jurnal Hama Dan Penyakit Tumbuhan*, 10(4), 174–186. <https://doi.org/10.21776/ub.jurnalhpt.2022.010.4.3>
- Maksuk, Kumalasari I, Amin M, & Pane M. (2024). Health Risk Assessment of Pesticide Exposure In Farmers Around Rice Farming Area in Ogan Ilir Regency, South Sumatra, Indonesia. *The Indonesian Journal of Public Health*, 19(1), 118. <https://doi.org/10.20473/Ijph.v19i1.2023.118-131>
- Nguyen HT, Le TL, Nguyen TDH, Truong TTT, & Nguyen TTT. (2025). Biological Control of Streptomyces murinus against *Colletotrichum* causing Anthracnose Disease on Tomato Fruits. *Journal of Pure and Applied Microbiology*, 19(1), 542–557. <https://doi.org/10.22207/JPAM.19.1.44>
- Oktavia ND, Moelyaningrum AD, & Pujiati RS. (2015). Penggunaan pestisida dan kandungan residu pada tanah dan buah semangka (*Citrullus vulgaris*,

- Schard) (studi di kelompok tani subur jaya desa mojosari kecamatan puger kabupaten jember). *Artikel Ilmiah Hasil Penelitian Mahasiswa*.
- Osadebe AU, & Patrick PU. (2023). Environmental Detoxification Potential Of Axenic And Mixed Cultures Of Bacillus Species On Pesticides Using An In Vitro Biodegradation Assay. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, 12(5). <https://doi.org/10.55251/jmbfs.9272>
- Pellan L, Durand N, Martinez V, Fontana A, Schorr-Galindo S, & Strub C. (2020). Commercial biocontrol agents reveal contrasting compartments against two mycotoxigenic fungi in cereals: Fusarium graminearum and fusarium verticillioides. *Toxins*, 12(3). <https://doi.org/10.3390/toxins12030152>
- Prajawahyudo T, Asiaka FKP, & Ludang E. (2022). Peranan keamanan pestisida di bidang pertanian bagi petani dan lingkungan. *J-SEA (Journal Socio Economics Agricultural)*, 17(1), 1.
- Prakoso NB, Aprilina V, & Qintharah YN. (2023). Pemanfaatan bahan dapur sebagai penanggulangan hama untuk mengurangi ketergantungan terhadap pestisida kimia. *Pena Dimas: Jurnal Pengabdian Masyarakat*, 1(2), 51–58. <https://doi.org/10.33474/p>
- Putra HW, Kurniatuhadi R, Tri RS, & Yanti AH. (2024). Antibacterial Activity of Streptomyces sp. NrASA6 Culture Extract Isolated from Nypa Palm Worm Substrate against Escherichia coli, Staphylococcus aureus, and Aeromonas sp. NrBF9. *Jurnal Biologi Tropis*, 1(24), 252–260. <https://doi.org/10.29303/jbt.v24i1.6469>
- Raharjo LA. (2025). Uji ANTAGONIS Streptomyces spp. TERHADAP Sporisorium scitamineum PENYEBAB LUKA API SECARA IN VITRO. *Jurnal Agrotek Tropika*, 13(1), 38. <https://doi.org/10.23960/jat.v13i1.8532>
- Rahmansyah M, Agustiyani D, Julistiono H, & Dewi T. (2013). Growth and adaptation of four Streptomyces isolates in the media containing propoxur. *Journal of Agriculture and Biological Science*, 7(9), 773–781.
- Sinambela BR. (2024). Dampak penggunaan pestisida dalam kegiatan pertanian terhadap lingkungan hidup dan kesehatan. *AGROTEK: Jurnal Ilmiah Ilmu Pertanian*, 8(2), 178–187. <https://doi.org/10.33096/agrotek.v8i2.625>
- Sulistinah N, Antonius S, & Rahmansyah M. (2016). Pengaruh residu pestisida terhadap pola populasi bakteri dan fungi tanah di rumahkaca. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 12(1), 43. <https://doi.org/10.29122/jtl.v12i1.1261>
- Supreeth M, Chandrashekar MA, Sachin N, & Raju NS. (2016). Effect of chlorpyrifos on soil microbial diversity and its biotransformation by Streptomyces sp. HP-11. *3 Biotech*, 6(2). <https://doi.org/10.1007/s13205-016-0462-2>
- Suyanto A, Oktarianti S, Astar I, & Tutik Purwani Irianti A. (2022). Penggunaan Streptomyces ambofaciens sebagai bioaktivator dalam pembuatan pupuk organik cair dari limbah organik. *Jurnal Teknotan*, 16(1), 1. <https://doi.org/10.24198/jt.vol16n1.1>
- Titalianingtyas E, & Ratnasari E. (2023). Aktivitas biofungisida ekstrak daun jarak pagar (Jatropha curcas L.) terhadap pertumbuhan Fusarium sp. secara in vitro. *LenteraBio : Berkala Ilmiah Biologi*, 12(2), 107–114. <https://doi.org/10.26740/lenterabio.v12n2.p107-114>
- Yuka RA, Setyawan A, & Supono S. (2021). Identifikasi bakteri bioremediasi pendegradasi total amonia nitrogen (TAN). *Jurnal Kelautan: Indonesian Journal of Marine Science and Technology*, 14(1), 20–29. <https://doi.org/10.21107/jk.v14i1.8499>

